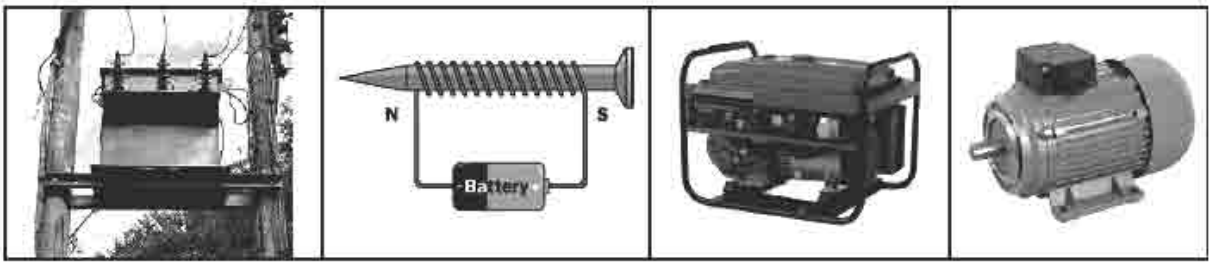
দ্বাদশ অধ্যায়

তড়িতের চৌম্বক ক্রিয়া

MAGNETIC EFFECT OF CURRENT



[তড়িতের চৌম্বক প্রভাব যেমন আছে তেমনি চুম্বকের তড়িৎ প্রভাব আছে। এই দুই প্রভাবকে কাজে লাগিয়ে অনেক তড়িৎ যন্ত্রপাতি তৈরি করা হয়েছে। এই সব যন্ত্রপাতি আমাদের অনেক সমস্যার সমাধান করেছে, জীবনে অনেক আরাম আয়েস এনে দিয়েছে, আমাদের জীবনমান উন্নত করেছে। এই অধ্যায়ে আমরা তাড়িতচুম্বক, তাড়িতচৌম্বক আবেশ, আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ ও আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি, তড়িৎ মোটর, জেনারেটর, ট্রান্সফর্মার ইত্যাদির কার্যপ্রণালি ও ব্যবহার নিয়ে আলোচনা করব।]

এই অধ্যায় পাঠ শেষে আমরা–

১। তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া ব্যাখ্যা করতে পারব।

২। তাড়িতচৌম্বক আবেশ ব্যাখ্যা করতে পারব।

৩। আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ ও আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি ব্যাখ্যা করতে পারব।

৪। মটর ও জেনারেটরের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারব।

৫। ট্রান্সফর্মারের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারব।

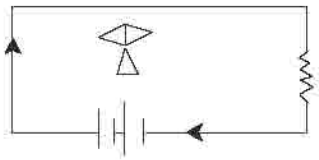
৬। স্টেপ আপ ও স্টেপ ডাউন ট্রান্সফর্মারের কার্যপ্রণালি ব্যাখ্যা করতে পারব।

৭। আমাদের জীবনে তড়িতের নানারূপের ব্যবহার ও এর অবদানকে প্রশংসা করতে পারব।

১২.১ তড়িতের চৌম্বক ক্রিয়া
Magnetic effect of current

ওয়েরস্টেড তড়িতের চৌম্বক ক্রিয়া বা প্রভাব আবিষ্কার করেন।

নিজে কর : পাশের চিত্রের মতো করে একটি বর্তনী তৈরি কর। তারের নিচে একটি কম্পাসকে এমনভাবে রাখ যেন এর কাঁটা উত্তর–দক্ষিণে মুখ করে থাকে। এবার সুইচ অন কর। কম্পাস কাঁটাটির কী ঘটছে?

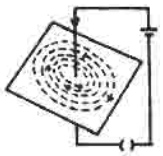


চিত্র ১২.১

সুইচ অন করে বর্তনীতে প্রবাহ চালনা করার সাথে সাথে কম্পাস কাঁটাটি একদিকে সরে যাচ্ছে। তড়িৎপ্রবাহের দিক পরিবর্তন করলে কম্পাস কাঁটাটি উল্টা দিকে সরে যায়। এর থেকে বোঝা যায় তড়িৎপ্রবাহ চুম্বকশলাকার উপর একটি প্রভাব সৃষ্টি করে। অর্থাৎ তড়িৎ প্রবাহের একটি চৌম্বকক্রিয়া আছে।

পরীক্ষণ : একটি শক্ত কাগজে একটি পরিবাহী তার ঢুকিয়ে এই তারসহ একটি তড়িৎ বর্তনী তৈরি কর। কাগজটি অনুভূমিক করে রেখে তারটির চারপাশে কিছু লোহার গুঁড়া ছড়িয়ে ছিটিয়ে দাও। এবার বর্তনী তথা পরিবাহী দিয়ে তড়িৎ চালনা কর এবং শক্ত কাগজে আঙুল দিয়ে আস্তে আস্তে টোকা দিতে থাক।

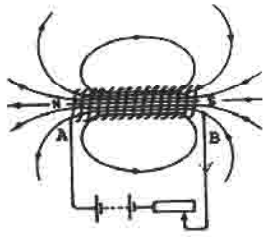
দেখা যাবে লোহার গুঁড়াগুলো চিত্র ১২.২ এর মতো নিজেদেরকে সাজিয়ে নেবে। যে রেখায় লোহার গুড়াগুলো নিজেদের সজ্জিত করে তাকে আমরা চুম্বক বলরেখা বলি। সুতরাং তড়িৎ প্রবাহ এর চারদিকে চৌম্বক প্রভাব ক্ষেত্র তথা চৌম্বক ক্ষেত্র তৈরি করে।



চিত্র ১২.২

১২.২ সলিনয়েড
Solenoid

উপরে বর্ণিত তারটিকে পেঁচিয়ে কয়েল বা কুণ্ডলী তৈরি করে আমরা চৌম্বক ক্ষেত্রকে ঘনীভূত করতে পারি (চিত্র ১২.৩ দেখ)। পেঁচানো বা কুণ্ডলী পাঁকানো তার দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করা হলে অধিকাংশ চুম্বক বলরেখা কুণ্ডলীর কেন্দ্রে ঘনীভূত হবে। চৌম্বকক্ষেত্রটি দেখতে অনেকটা দণ্ড চুম্বকের ক্ষেত্রের মতো হবে। এরকম কুণ্ডলীকে বলা হয় সলিনয়েড। এর ভিতর যদি আমরা কোনো লোহার দণ্ড বা লোহার পেরেক ঢুকাই তাহলে লোহার দণ্ড বা পেরেকটি চুম্বকে পরিণত হবে। তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ করে দিলে লোহার দণ্ডটি বা পেরেকটি আর চুম্বক থাকবে না। প্রবাহের দিক বিপরীত করা হলে, চুম্বকের মেরু বিপরীত হয়ে যাবে। এভাবে লোহার দণ্ডটি বা পেরেকটি যে চুম্বকে পরিণত হলো তাকে বলা হয় তাড়িতচুম্বক।



চিত্র ১২.৩

১২.৩ তাড়িতচুম্বক
Electromagnet

সলিনয়েডের ভিতর কোনো লোহার দণ্ড বা পেরেককে ঢুকালে সলিনয়েডের নিজের যে চৌম্বকক্ষেত্র রয়েছে তার চেয়ে বেশি শক্তিশালী চৌম্বকক্ষেত্র তৈরি করে ফলে

চিত্র ১২.৩ (ক)

সলিনয়েড থেকে বেশি চৌম্বকক্ষেত্র পাওয়া যায়। তড়িৎ প্রবাহ চলাকালীন এটি বেশ শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত হয়। একে বলা হয় তাড়িতচুম্বক।এই চুম্বকের সবলতা নিম্নোক্তভাবে আরও বাড়ানো যায়–

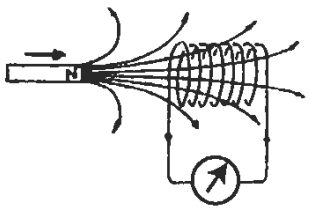
- তড়িৎ প্রবাহ বাড়িয়ে
- সলিনয়েডের পাকের সংখ্যা বাড়িয়ে
- ইংরেজি U অক্ষরের মতো বাঁকিয়ে চুম্বক মেরু দুইটিকে আরও কাছাকাছি এনে।

বিভিন্ন তড়িৎ প্রবাহের ফলে বা সলিনয়েডের পাকের সংখ্যা বাড়ালে সলিনয়েড দ্বারা চুম্বকায়িত দন্ড বা পেরেকটি কী পরিমাণ আলপিন বা পেপার ক্লিপ আকর্ষণ করতে পারে তা তোমাদের শিক্ষককের সাহায্য নিয়ে পরীক্ষা করে দেখ। বৈদ্যুতিক ঘণ্টা তৈরি, লোহা বা ইস্পাতের ভারী জিনিস উঠানামা করা বা আবর্জনা সরানোর ক্রেন তৈরিতে তাড়িতচুম্বক ব্যবহার করা হয়। চোখের ভিতর লোহা বা ইস্পাতের গুঁড়া ঢুকলে তা বের করার কাজে এই চুম্বক ব্যবহার কর হয় এছাড়া টেলিফোনের ইয়ারপিস ও দরজার তাড়িতচৌম্বক তালায় তাড়িতচুম্বক ব্যবহার করা হয়।

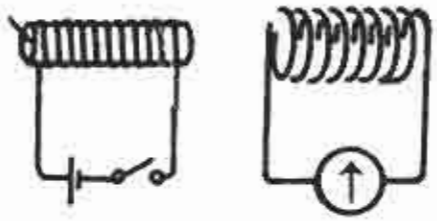
১২.৪ তাড়িতচৌম্বক আবেশ
Electromagnetic induction

বিজ্ঞানী ওয়েরস্টেডের তড়িতের চৌম্বক ক্রিয়া আবিষ্কারের পর অনেক বিজ্ঞানী চেষ্টা করতে থাকেন চৌম্বকক্ষেত্র থেকে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করা যায় কিনা। এই নিয়ে যারা কাজ করছিলেন তাদের মধ্যে ইংল্যান্ডে মাইকেল ফ্যারাডে, আমেরিকায় জোসেফ হেনরি এবং রাশিয়াতে এইচ.এফ.ই.লেঞ্জ তিনজনই পৃথক পৃথকভাবে সাফল্য লাভ করেন। কিন্তু ১৮৩১ সালে মাইকেল ফ্যারাডে তাঁর পরীক্ষালব্ধ ফলাফল প্রথম প্রকাশ করেন। তিনি দেখান যে, একটি পরিবর্তনশীল চৌম্বকক্ষেত্র তড়িচ্চালকশক্তি সৃষ্টি করতে পারে যা একটি আবদ্ধ বর্তনী দিয়ে একটি আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ চালাতে পারে। পরিবর্তনশীল চৌম্বকক্ষেত্রের দ্বারা কোনো বর্তনীতে তড়িচ্চালকশক্তি বা তড়িত প্রবাহ সৃষ্টির এই ঘটনাকে তাড়িতচৌম্বক আবেশ বলে। তাড়িতচৌম্বক আবেশ আবিষ্কারের জন্য ফ্যারাডে দুইটি পরীক্ষা করেছিলেন। পরীক্ষাগুলো তোমরাও করতে পার।

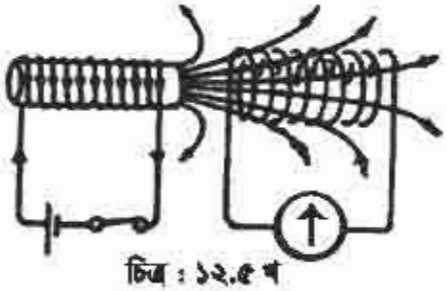
পরীক্ষা–১ : কার্ড বোর্ডের একটি চোঙের গায়ে অন্তরীত তার পেঁচিয়ে একটি কুণ্ডলী তৈরি কর। এই কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের উপস্থিতি বোঝার জন্য এর দুই প্রান্তের সাথে একটি গ্যালভানোমিটার যুক্ত কর। সংযোগ দেওয়ার সময় তারের প্রান্তের অপরিবাহী আবরণ খুলে ফেলতে হবে।এখন একটি দন্ড চুম্বকের দক্ষিণ মেরুকে দ্রুত চোঙের ভিতর ঢুকাও। কী ঘটছে? কুণ্ডলী দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চলছে। গ্যালভানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপ ঘটছে। এবার চুম্বকটি বের করে নাও। কী ঘটছে? চুম্বক প্রবেশ করানোর সময় গ্যালভানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপ যে দিকে হয়েছিল চুম্বককে বের করানোর সময় বিক্ষেপ হয়েছে তার বিপরীত দিকে। চুম্বকটিকে স্থির রেখে এবার যদি গ্যালভানোমিটারসহ কুণ্ডলীটিকে চুম্বকের দিকে দ্রুত নেওয়া হয় তাহলেও গ্যালভানোমিটারে ক্ষণিক বিক্ষেপ দেখা যাবে। কুণ্ডলীটিকে চুম্বক থেকে দূরে সরিয়ে নিলে বিক্ষেপ বিপরীত দিকে দেখা যাবে।


চিত্র : ১২.৪

পরীক্ষা–২ : এই পরীক্ষার জন্য অন্তরীত তামার তারের দুইটি বন্ধ কুণ্ডলী নিতে হবে। একটি কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তির উৎসরূপে একটি ব্যাটারি, একটি পরিবর্তনশীল রোধ ও একটি টেপা চাবি সংযুক্ত করতে হবে (চিত্র ১২.৫ ক)। এ কুণ্ডলীকে মুখ্য কুণ্ডলী বলা হয়। মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ চালালে অপর কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্ট হয়। এ কুণ্ডলীতে গ্যালভানোমিটার সংযুক্ত করলে ক্ষণিক বিক্ষেপ দেখা যায়। একে গৌণ কুণ্ডলী বলা হয়। (চিত্র : ১২.৫ খ)। আবার তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ করার সময়ও গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ দেখা যাবে। তবে এবার বিক্ষেপ বিপরীত দিকে হয়।



চিত্র : ১২.৫ ক



চিত্র : ১২.৫ খ

১২.৫ আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ ও আবিষ্ট ভোল্টেজ বা বিভব পার্থক্য
Induced current and induced voltage

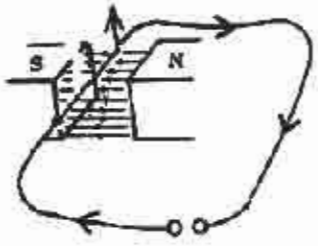
পরীক্ষা দুইটি থেকে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহের অস্তিত্ব প্রমাণ করে। সুতরাং কোনো তার কুণ্ডলীর কাছে আমরা যদি কোনো চুম্বককে নাড়াচাড়া করি বা আনা নেওয়া করি বা কোনো চুম্বকের নিকট কোনো তার কুণ্ডলীকে আনা নেওয়া করি তাহলে তার কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন হয়। একে তাড়িতচৌম্বক আবেশ বলে। কোনো তড়িৎবাহী তার বা বর্তনীর নিকট কোনো তার কুণ্ডলী আনা নেওয়া করলেও তার কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন হয়। একেও তাড়িতচৌম্বক আবেশ বলে। সুতরাং আমরা বলতে পারি যে, একটি গতিশীল চুম্বক বা তড়িৎবাহী বর্তনীর দূরত্ব বা তড়িৎপ্রবাহের পরিবর্তনের সাহায্যে অন্য একটি সংবদ্ধ বর্তনীতে ক্ষণস্থায়ী ভোল্টেজ ও তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হওয়ার পদ্ধতিকে তাড়িতচৌম্বক আবেশ বলে। এই ভোল্টেজকে আবিষ্ট ভোল্টেজ এবং প্রবাহকে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ বলে।

চুম্বক ও কুণ্ডলীর মধ্যবর্তী আপেক্ষিক গতি না থাকলে গ্যালভানোমিটারে কোনো বিক্ষেপ দেখা যায় না। আপেক্ষিক গতি যত বেশি হয় বিক্ষেপের পরিমাণও তত বৃদ্ধি পায়। সুতরাং বলা যায়, চুম্বক ও কুণ্ডলীর মধ্যবর্তী আপেক্ষিক গতি যতক্ষণ থাকে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহও ততক্ষণ স্থায়ী হয়। চুম্বকের মেরু পরিবর্তন করলে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের দিকও পরিবর্তিত হয়। আবিষ্ট ভোল্টেজ বা তড়িৎপ্রবাহ নিম্নোক্তভাবে বৃদ্ধি করা যায়–

- শক্তিশালী চুম্বক ব্যবহার করে
- চুম্বককে বা তারকুণ্ডলীকে দ্রুত আনা নেওয়া করে
- তারকুণ্ডলীর পাক সংখ্যা বৃদ্ধি করে।

১২.৬ তড়িৎ প্রবাহী তারের উপর চুম্বকের প্রভাব
Effect of magnet on a current carrying wire

আমরা জানি যে, তড়িৎবাহী তার নিজস্ব একটি চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি করে। শক্তিশালী চুম্বকের বিপরীত মেরুদ্বয়ের মধ্যে সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্র এবং তড়িৎবাহী তারের চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে ক্রিয়া প্রতিক্রিয়া ঘটে।



চিত্র : ১২.৬: শিল্প ভোল্টেজ তড়িৎ উৎস

তোমাদের শিক্ষক এই ক্রিয়া প্রতিক্রিয়া তোমাদের দেখাতে পারেন। তোমরা নিজেরা বা শিক্ষকের সহায়তায় এটা করে দেখতে পার। চিত্রের মত করে একটি শক্তিশালী চুম্বকের দুই প্রান্তের মধ্যে একটি তড়িৎবাহী তারকে রাখ। এই তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত কর। দেখবে এটি উপরের দিকে লাফিয়ে উঠবে। এর ফলে বোঝা যায় যে, একটি বল এর উপর কাজ করছে। এই বল কোথা থেকে এল?

তুমি যদি চিত্র : ১২.৭ (ক) এর দিকে তাকাও তাহলে চুম্বকের মেরুদ্বয়ের মধ্যবর্তী বলরেখাগুলো দেখতে পাবে। তড়িৎপ্রবাহের দরুণ সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রটিও দেখানো হয়েছে। দুইটি ক্ষেত্রের সমন্বয়ে সৃষ্ট বলরেখাগুলোও ১২.৭ (খ)–তে দেখানো হয়েছে। তারের নিচে তারের উপরের চেয়ে বলরেখা বেশি। এর কারণ হলো উভয় ক্ষেত্র একই অভিমুখে ক্রিয়া করছে। [চিত্র ১২.৭ (ক) আবার দেখ]। তারের উপরে ক্ষেত্রদ্বয় পরস্পরের বিরোধিতা করছে, ফলে কয়েকটি বলরেখা একে অপরকে বাতিল করে দিচ্ছে ফলে সেখানে রেখার সংখ্যা কম। যেহেতু রেখাগুলো পরস্পরকে টান টান রাখতে চায় তাই (স্থিতিস্থাপক রবার ব্যান্ডের মত) তারা তারের উপর ঊর্ধ্বমুখী বল প্রয়োগ করে । ফলে তারটি মুক্ত অবস্থায়

চিত্র ১২.৭ (ক)

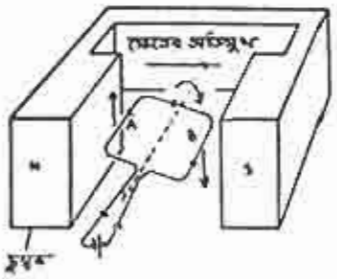
চিত্র ১২.৭ (খ)

থাকলে উপরের দিকে লাফিয়ে উঠে। তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ বিপরীত করা হলে সে ক্ষেত্রে তারটি নিচের দিকে যাবে।

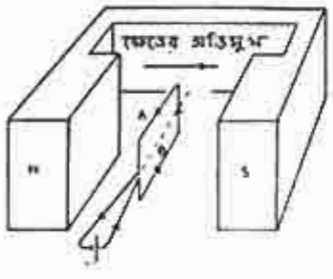
১২.৭ তড়িৎ মোটর

Electric motor

ধরা যাক, চুম্বকের মেরুদ্বয়ের মধ্যে একটি টান টান তার ব্যবহার না করে চিত্র ১২.৮ (ক) এর মতো তারের একটি লুপ বা কুণ্ডলী ব্যবহার করা হলো। যেহেতু লুপটি A থেকে বেঁকে B তে বিপরীত অভিমুখী হয়ে ফিরে এসেছে তাই লুপের দুই অর্ধেকের মধ্যে পরস্পরের বিপরীতমুখী তড়িৎ প্রবাহিত হবে। সুতরাং A তে তারটি উপরের দিকে উঠবে এবং B তে তারটি নিচের দিকে নামবে। এর ফলে তারটি ঘড়ির কাঁটার গতির দিকে ঘুরবে। চিত্র : ১২.৮ (খ) এর মতো তারটি যখন খাড়া অবস্থায় থাকবে তখন এর উপর কোনো বল ক্রিয়া করবে না। ফলে এটি থেমে যাবে। লুপটিকে ঘূর্ণায়মান রাখার জন্য আমরা কম্যুটেটর নামক একটি উপকরণ ব্যবহার করব। এটি সমান দুই অংশে বিভক্ত একটি তামার কলস বা আংটি (চিত্র ১২.৯ দেখ)। এর প্রত্যেক অর্ধাংশ কুণ্ডলীর একটি প্রান্তের সাথে সংযুক্ত থাকে (যথাক্রমে A ও B তে)। বিভক্ত কলসের বাইরের প্রান্তটি একটি সুদৃঢ় কার্বন ব্রাশের দ্বারা তড়িৎ উৎসের সাথে সংস্পর্শ স্থাপন করে। বিভক্ত কলসটি কুণ্ডলীর সাথে ঘুরে এবং যখন এর দুই অর্ধেকের মধ্যকার ফাঁক কার্বন ব্রাশের বিপরীতে থাকে তখন কোনো তড়িৎ প্রবাহিত হবে না। কিন্তু তা সত্ত্বেও ঘূর্ণন গতির জড়তার কারণে ঘূর্ণন অব্যাহত থাকবে এবং পুনরায় ব্রাশের সংস্পর্শে এলে ঘূর্ণনের জন্য নতুনভাবে বল লাভ করবে। এভাবে ঘূর্ণন অবিরত চলতে থাকবে।



চিত্র ১২.৮ (ক)



চিত্র ১২.৮ (খ)

১। **এসি জেনারেটর :** এসি জেনারেটর অধিক প্রচলিত বিধায় এর গঠন ও কার্যপ্রণালী সম্পর্কে নিম্নে আলোচনা করা হলো :

গঠন : এতে একটি চুম্বক থাকে। চুম্বকের মধ্যবর্তী স্থানে একটি কাচা লোহার পাতের উপর একটি তারের আয়তকার কুণ্ডলী (চিত্রে *AB*) থাকে। কাচা লোহার পাতটিকে আর্মেচার বলে। আর্মেচারটিকে চুম্বকের দুই মেরুর মধ্যবর্তী স্থানে যান্ত্রিক উপায়ে সমদ্রুতিতে ঘুরানো হয়। আয়তকার কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত দুইটি স্লিপ রিং এর সাথে সংযুক্ত থাকে। স্লিপ রিং দুইটি আর্মেচারের একই অক্ষ বরাবর ঘুরতে পারে। দুইটি কার্বন নির্মিত ব্রাশ এমনভাবে স্থাপন করা হয় যেন তারা যখন আর্মেচার ঘুরতে থাকে তখন স্লিপ রিং দুইটিকে স্পর্শ করে থাকে। ব্রাশ দুইটির সাথে বহির্বর্তনীর রোধ *R* সংযুক্ত থাকে।

চিত্র : ১২.১১

কার্যপ্রণালি : যখন আর্মেচারটিকে ঘুরানো হয় তখন আর্মেচার কুণ্ডলী চৌম্বকক্ষেত্রের বলরেখাগুলোকে ছেদ করে এবং তাড়িতচৌম্বক আবেশের নিয়মানুযায়ী কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীর একবার ঘূর্ণনের মধ্যে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখও একবার পরিবর্তিত হয়। এখন কুণ্ডলীটির দুই প্রান্ত বর্হিবর্তনীর সাথে সংযুক্ত থাকায় বর্তনীতে পর্যায়বৃত্ত তড়িৎপ্রবাহের উৎপত্তি হয়। আবিস্ট তড়িৎপ্রবাহের মান প্রধানত চৌম্বকক্ষেত্রের সবলতা ও ঘূর্ণনের বেগের উপর নির্ভর করে। এভাবে যান্ত্রিক শক্তি থেকে পর্যায়বৃত্ত প্রবাহ উৎপন্ন হয়।

১২.৯ ট্রান্সফর্মার
Transformer

যে যন্ত্রের সাহায্যে পর্যায়বৃত্ত উচ্চ বিভবকে নিম্ন বিভবে বা পর্যায়বৃত্ত নিম্ন বিভবকে উচ্চ বিভবে রূপান্তরিত করা যায় তাকে ট্রান্সফর্মার বলে। তাড়িতচৌম্বক আবেশের উপর ভিত্তি করে এই যন্ত্র তৈরি করা হয়। এই যন্ত্রে একটি কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ পরিবর্তন করে অন্য কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎ উৎপাদন করা হয়। ট্রান্সফর্মার সাধারণত দুই প্রকারের হয়। যথা–

১. আরোহী বা স্টেপ আপ ট্রান্সফর্মার (Step up transformer) : যে ট্রান্সফর্মার অল্প বিভবের অধিক তড়িৎ প্রবাহকে অধিক বিভবের অল্প তড়িৎপ্রবাহে রূপান্তরিত করে তাকে আরোহী বা স্টেপ আপ ট্রান্সফর্মার বলে।

২. অবরোহী বা স্টেপ ডাউন ট্রান্সফর্মার (Step down transformer) : যে ট্রান্সফর্মার অধিক বিভবের অল্প তড়িৎপ্রবাহকে অল্প বিভবের অধিক তড়িৎ প্রবাহে রূপান্তরিত করে তাকে অবরোহী বা স্টেপ ডাউন ট্রান্সফর্মার বলে।

ট্রান্সফর্মারের গঠন ও কার্যপ্রণালি : একটি কাচা লোহার আয়তাকার মজ্জা বা কোর নেওয়া হয়। এর পরস্পর বিপরীত দুই বাহুতে অন্তরীত তার পেঁচিয়ে ট্রান্সফর্মার তৈরি করা হয় [চিত্র ১২.১২]। আয়তাকার মজ্জার এক বাহুর কুণ্ডলীতে পর্যায়বৃত্ত প্রবাহ বা বিভব প্রয়োগ করা হয়, একে মুখ্য কুণ্ডলী বলে। অপর যে বিপরীত বাহুর কুণ্ডলীতে পর্যায়বৃত্ত বিভব আবিষ্ট হয় তাকে গৌণ কুণ্ডলী বলে। আরোহী বা স্টেপআপ ট্রান্সফর্মারের মুখ্য কুণ্ডলীর চেয়ে গৌণ কুণ্ডলীতে তারের পাক সংখ্যা বেশি থাকে। অবরোহী বা স্টেপডাউন ট্রান্সফর্মারে মুখ্য কুণ্ডলীর চেয়ে গৌণ কুণ্ডলীর তারের পাক সংখ্যা কম থাকে।

১। **এসি জেনারেটর :** এসি জেনারেটর অধিক প্রচলিত বিধায় এর গঠন ও কার্যপ্রণালী সম্পর্কে নিম্নে আলোচনা করা হলো :

গঠন : এতে একটি চুম্বক থাকে। চুম্বকের মধ্যবর্তী স্থানে একটি কাচা লোহার পাতের উপর একটি তারের আয়তকার কুণ্ডলী (চিত্রে *AB*) থাকে। কাচা লোহার পাতটিকে আর্মেচার বলে। আর্মেচারটিকে চুম্বকের দুই মেরুর মধ্যবর্তী স্থানে যান্ত্রিক উপায়ে সমদ্রুতিতে ঘুরানো হয়। আয়তকার কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত দুইটি স্লিপ রিং এর সাথে সংযুক্ত থাকে। স্লিপ রিং দুইটি আর্মেচারের একই অক্ষ বরাবর ঘুরতে পারে। দুইটি কার্বন নির্মিত ব্রাশ এমনভাবে স্থাপন করা হয় যেন তারা যখন আর্মেচার ঘুরতে থাকে তখন স্লিপ রিং দুইটিকে স্পর্শ করে থাকে। ব্রাশ দুইটির সাথে বহির্বর্তনীর রোধ *R* সংযুক্ত থাকে।

চিত্র : ১২.১১

কার্যপ্রণালি : যখন আর্মেচারটিকে ঘুরানো হয় তখন আর্মেচার কুণ্ডলী চৌম্বকক্ষেত্রের বলরেখাগুলোকে ছেদ করে এবং তাড়িতচৌম্বক আবেশের নিয়মানুযায়ী কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীর একবার ঘূর্ণনের মধ্যে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখও একবার পরিবর্তিত হয়। এখন কুণ্ডলীটির দুই প্রান্ত বর্হিবর্তনীর সাথে সংযুক্ত থাকায় বর্তনীতে পর্যায়বৃত্ত তড়িৎপ্রবাহের উৎপত্তি হয়। আবিস্ট তড়িৎপ্রবাহের মান প্রধানত চৌম্বকক্ষেত্রের সবলতা ও ঘূর্ণনের বেগের উপর নির্ভর করে। এভাবে যান্ত্রিক শক্তি থেকে পর্যায়বৃত্ত প্রবাহ উৎপন্ন হয়।

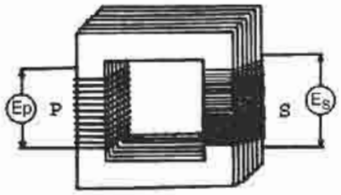
১২.৯ ট্রান্সফর্মার
Transformer

যে যন্ত্রের সাহায্যে পর্যায়বৃত্ত উচ্চ বিভবকে নিম্ন বিভবে বা পর্যায়বৃত্ত নিম্ন বিভবকে উচ্চ বিভবে রূপান্তরিত করা যায় তাকে ট্রান্সফর্মার বলে। তাড়িতচৌম্বক আবেশের উপর ভিত্তি করে এই যন্ত্র তৈরি করা হয়। এই যন্ত্রে একটি কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ পরিবর্তন করে অন্য কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎ উৎপাদন করা হয়। ট্রান্সফর্মার সাধারণত দুই প্রকারের হয়। যথা–

১. আরোহী বা স্টেপ আপ ট্রান্সফর্মার (Step up transformer) : যে ট্রান্সফর্মার অল্প বিভবের অধিক তড়িৎ প্রবাহকে অধিক বিভবের অল্প তড়িৎপ্রবাহে রূপান্তরিত করে তাকে আরোহী বা স্টেপ আপ ট্রান্সফর্মার বলে।

২. অবরোহী বা স্টেপ ডাউন ট্রান্সফর্মার (Step down transformer) : যে ট্রান্সফর্মার অধিক বিভবের অল্প তড়িৎপ্রবাহকে অল্প বিভবের অধিক তড়িৎ প্রবাহে রূপান্তরিত করে তাকে অবরোহী বা স্টেপ ডাউন ট্রান্সফর্মার বলে।

ট্রান্সফর্মারের গঠন ও কার্যপ্রণালি : একটি কাচা লোহার আয়তাকার মজ্জা বা কোর নেওয়া হয়। এর পরস্পর বিপরীত দুই বাহুতে অন্তরীত তার পেঁচিয়ে ট্রান্সফর্মার তৈরি করা হয় [চিত্র ১২.১২]। আয়তাকার মজ্জার এক বাহুর কুণ্ডলীতে পর্যায়বৃত্ত প্রবাহ বা বিভব প্রয়োগ করা হয়, একে মুখ্য কুণ্ডলী বলে। অপর যে বিপরীত বাহুর কুণ্ডলীতে পর্যায়বৃত্ত বিভব আবিষ্ট হয় তাকে গৌণ কুণ্ডলী বলে। আরোহী বা স্টেপআপ ট্রান্সফর্মারের মুখ্য কুণ্ডলীর চেয়ে গৌণ কুণ্ডলীতে তারের পাক সংখ্যা বেশি থাকে। অবরোহী বা স্টেপডাউন ট্রান্সফর্মারে মুখ্য কুণ্ডলীর চেয়ে গৌণ কুণ্ডলীর তারের পাক সংখ্যা কম থাকে।



চিত্র : ১২.১২ (ক) উচ্চধাপী ট্রান্সফর্মার

চিত্র : ১২.১২ (খ) নিম্নধাপী ট্রান্সফর্মার

মনে কর কোনো ট্রান্সফর্মারে n_p পাকবিশিষ্ট মুখ্য কুণ্ডলীতে E_p পর্যায়বৃত্ত বিভব প্রয়োগ করার ফলে এই কুণ্ডলীতে I_p প্রবাহ পাওয়া গেল। এই প্রবাহ মজ্জাটিকে চুম্বকিত করে চৌম্বক বলরেখা উৎপন্ন করে যা মুখ্য কুণ্ডলীতে একটি আবিষ্ট ভোল্টেজ বা তড়িচ্চালক শক্তি উৎপন্ন করে। চৌম্বক বলরেখার যদি কোনো ক্ষরণ না হয় তাহলে গৌণ কুণ্ডলীর প্রতি পাকেও একই সংখ্যক বলরেখা সংযুক্ত হবে। ফলে গৌণ কুণ্ডলীতেও ভোল্টেজ বা তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হবে। গৌণ কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা n_s এবং গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট ভোল্টেজ বা তড়িচ্চালক শক্তি E_s হলে মুখ্য ও গৌণ কুণ্ডলীর ভোল্টেজ ও তারের পাকসংখ্যার সম্পর্ক হবে,

$$\frac{E_P}{E_S} = \frac{n_P}{n_S} \qquad (12.1)$$

যখন $n_s > n_p$ তখন ট্রান্সফর্মারটি আরোহী বা স্টেপআপ ট্রান্সফর্মার এবং যখন $n_s < n_p$ তখন ট্রান্সফর্মারটি অবরোহী বা স্টেপডাউন ট্রান্সফর্মার। কোনো ক্ষমতার অপচয় না ঘটলে মুখ্য কুণ্ডলীর প্রযুক্ত সকল ক্ষমতা গৌণ কুণ্ডলীতে সরবরাহ হবে। সুতরাং, মুখ্য কুণ্ডলীর ভোল্টেজ × মুখ্য কুণ্ডলীর তড়িৎপ্রবাহ = গৌণ কুণ্ডলীর ভোল্টেজ × গৌণ কুণ্ডলীর তড়িৎপ্রবাহ অর্থাৎ $E_P I_P = E_S I_S$

$$\text{বা, } \frac{E_P}{E_S} = \frac{I_S}{I_P} \qquad (12.2)$$

এর অর্থ এই যে, কোনো ট্রান্সফর্মার যে হারে ভোল্টেজ কমায় ঠিক সে হারে তড়িৎ প্রবাহ বৃদ্ধি করে যাতে ক্ষমতার পরিমাণ সমান বা ধ্রুব থাকে। সুতরাং ট্রান্সফর্মার ভোল্টেজ ও তড়িৎ প্রবাহ উভয়কেই রূপান্তর করে।

দূরদূরান্তে তড়িৎ প্রেরণের জন্য আরোহী বা স্টেপআপ ট্রান্সফর্মার ব্যবহার করা হয়। নিম্ন ভোল্টেজ ব্যবহারকারী যন্ত্রপাতি যেমন রেডিও, টেলিভিশন, টেপরেকর্ডার, ভিসিআর, ভিসিপি, ইলেকট্রিক ঘড়ি ইত্যাদিতে অবরোহী বা স্টেপডাউন ট্রান্সফর্মার ব্যবহার করা হয়।

গাণিতিক উদাহরণ : ১২.১। একটি ট্রান্সফর্মারের মুখ্য কুণ্ডলীতে ভোল্টেজ 10V এবং প্রবাহ 6A। গৌণ কুণ্ডলীর ভোল্টেজ 20Vহলে, গৌণ কুণ্ডলীর প্রবাহ নির্ণয় কর।

আমরা জানি :

$$\frac{E_P}{E_S} = \frac{I_S}{I_P}$$

$$\text{বা, } I_S = \frac{E_P}{E_S} \times I_P = \frac{10V \times 6A}{20V} = 3A$$

উত্তর : $3A$

এখানে,

মুখ্য কুণ্ডলীর ভোল্টেজ, $E_p = 10V$

গৌণ কুণ্ডলীর ভোল্টেজ, $E_S = 20V$

মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহ, $I_P = 6A$

গৌণ কুণ্ডলীর প্রবাহ, $I_s = ?$

গাণিতিক উদাহরণ : ১২.২। একটি ট্রান্সফর্মারের মুখ্য কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা 50, ভোল্টেজ 210V। এর গৌণ কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা 100 হলে ভোল্টেজ কত ?

আমরা জানি :

$$\frac{E_p}{E_s}=\frac{n_p}{n_s}$$

বা, $E_s=\frac{n_s}{n_p}\times E_p$

$=\frac{100}{50}\times 210V = 420\text{V}$

উত্তর : 420V

এখানে,

মুখ্য কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা $n_P=50$

মুখ্য কুণ্ডলীর ভোল্টেজ, $E_P=210\text{V}$

গৌণ কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা, $n_S=100$

গৌণ কুণ্ডলীর ভোল্টেজ, $E_S=?$

গাণিতিক উদাহরণ : ১২.৩। একটি ট্রান্সফর্মারের মুখ্য কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা 18 এবং গৌণ কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা 90, মুখ্য কুণ্ডলীর তড়িৎ প্রবাহ 7A হলে গৌণ কুণ্ডলীর প্রবাহ কত ?

আমরা জানি :

$$\frac{I_S}{I_P}=\frac{n_P}{n_S}$$

বা, $I_S=\frac{n_P}{n_S}\times I_P$

$\therefore I_S=\frac{18}{90}\times 7A=\frac{7}{5}A=1.4\text{A}$

উত্তর : 1.4A

এখানে,

মুখ্য কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা $n_p=18$

মুখ্য কুণ্ডলীর তড়িৎপ্রবাহ $I_p=7\text{A}$

গৌণ কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা, $n_s=90$

গৌণ কুণ্ডলীর তড়িৎপ্রবাহ $I_s=?$

অনুশীলনী

ক. বহুনির্বাচনী প্রশ্ন

সঠিক উত্তরের পাশে টিক ($\surd$) চিহ্ন দাও

১। কোনো চোঙের উপর অন্তরীত তার পেঁচিয়ে সলিনয়েড তৈরি করে তাতে তড়িৎপ্রবাহ চালালে চৌম্বকক্ষেত্রের কী ঘটবে?

(ক) ঘনীভূত ও দুর্বল হবে
(খ) ঘনীভূত ও শক্তিশালী হবে
(গ) কম ঘনীভূত ও দুর্বল হবে
(ঘ) কম ঘনীভূত কিন্তু শক্তিশালী হবে

২। কোনটির কার্যপ্রণালিতে তাড়িতচৌম্বক আবেশকে ব্যবহার করা হয় ?

(ক) ট্রানজিস্টর (খ) মোটর

(গ) অ্যাম্প্লিফায়ার (ঘ) ট্রান্সফর্মার

৩। কোন প্রক্রিয়া বা কার্যধারায় তড়িচ্চালকশক্তি উৎপন্ন হয় –

(i) কোনো তারকুণ্ডলীর ভিতর কোনো চুম্বক স্থির অবস্থায় রাখলে

(ii) কোনো চৌম্বকক্ষেত্রে কোনো তারকুণ্ডলী ঘুরালে

(iii) কোনো স্থির তারকুণ্ডলীর চারদিকে কোনো চুম্বক ঘুরালে

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i (খ) ii

(গ) i ও ii (ঘ) ii ও iii

কোনো তারকুণ্ডলীর ভিতর একটি দণ্ড চুম্বক আনানেওয়া করা হচ্ছে। এতে তারকুণ্ডলীতে ভোল্টেজ আবিষ্ট হচ্ছে। আবিষ্ট ভোল্টেজ কয়েকটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে। এবার নিচের ৪ ও ৫ নম্বর প্রশ্নের জবাব দাও।

৪। তাড়িতচৌম্বক আবেশের বেলায় আবিষ্ট ভোল্টেজ কোনটির উপর নির্ভর করে ?

(i) তারকুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য

(ii) চৌম্বকক্ষেত্রে আনানেওয়া করা তারকুণ্ডলীর রোধ

(iii) চৌম্বকক্ষেত্রে আনানেওয়া করা তারকুণ্ডলীর দ্রুতি

নিচের কোনোটি সঠিক?

(ক) i (খ) ii

(গ) i ও ii (ঘ) i ও iii

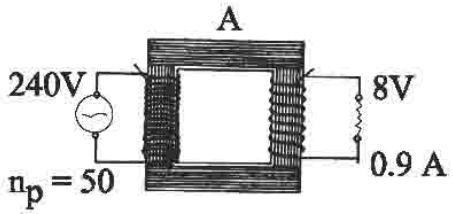
৫। তারকুণ্ডলীর পাকের সংখ্যা বাড়ালে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের কী ঘটবে?

(ক) তড়িৎপ্রবাহ কমে যাবে (খ) তড়িৎপ্রবাহ বেড়ে যাবে

(গ) তড়িৎপ্রবাহের মান শূন্য হবে (ঘ) তড়িৎপ্রবাহের মান সমান হবে

খ. সৃজনশীল প্রশ্ন

১। চিত্রটি দেখে নিচের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও।



(ক) *A* চিহ্নিত বস্তুটির নাম কী?

(খ) যন্ত্রটি যে নীতি বা ঘটনার উপর তৈরি তা ব্যাখ্যা কর।

(গ) এই যন্ত্রের মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রবাহ মাত্রা নির্ণয় কর।

(ঘ) উপাত্তের আলোকে যন্ত্রটির ক্রিয়া গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর।

গ. সাধারণ প্রশ্ন

১। তড়িৎপ্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া কী ?

২। তাড়িতচুম্বক কাকে বলে? এই চুম্বক কী কী কাজে লাগে?

৩। জেনারেটর কাকে বলে? জেনারেটর দিয়ে কী কাজ করা হয়?

৪। জেনারেটর ও তড়িৎ মোটরের মধ্যে পার্থক্য কী ?

৫। স্টেপআপ ও স্টেপডাউন ট্রান্সফর্মার দ্বারা কী কাজ করা হয় ?

৬। তাড়িতচুম্বকের প্রাবল্য কীভাবে বৃদ্ধি করা যায় লিখ।

৭। কোনো ট্রান্সফর্মার 240V এসি উৎসের সাথে সংযুক্ত আছে। এর মুখ্য ও গৌণকুণ্ডলীর পাক সংখ্যা যথাক্রমে 1000 ও 50। এর গৌণকুণ্ডলীর ভোল্টেজ কত?